

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
29. April 2004 (29.04.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/036151 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G01F 1/66**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/011399

(22) Internationales Anmeldedatum:  
15. Oktober 2003 (15.10.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 48 593.3 17. Oktober 2002 (17.10.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ENDRESS + HAUSER FLOWTEC AG** [CH/CH]; Kägenstrasse 7, CH-4153 Reinach (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **FRÖHLICH, Thomas** [CH/CH]; Kienbergstrasse 20, CH-4058 Basel (CH).

**STRUNZ, Torsten** [CH/CH]; Hebelstrasse 126, CH-4056 Basel (CH); **WIEST, Achim** [DE/DE]; Kirchstrasse 8/1, 79576 Weil am Rhein (DE).

(74) Anwalt: **ANDRES, Angelika**; c/o Endress + Hauser Deutschland Holding GmbH, PatServe, Colmarer Strasse 6, 79576 Weil am Rhein (DE).

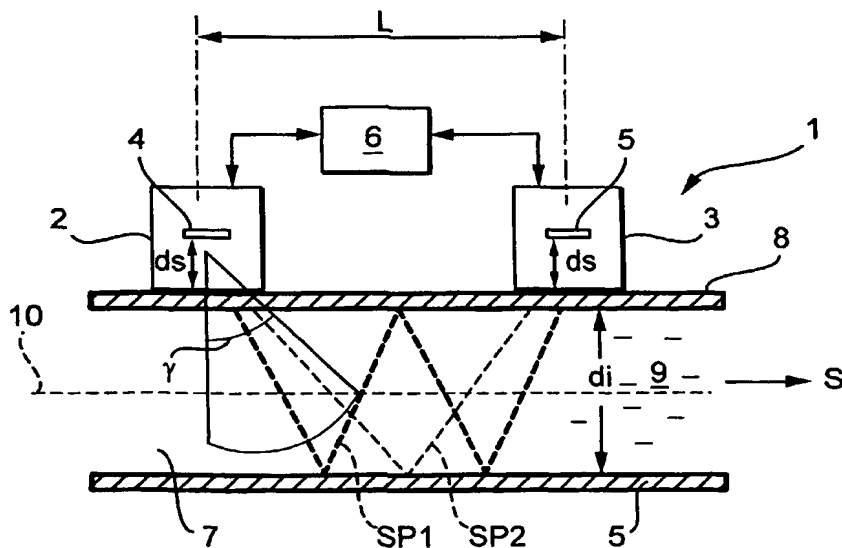
(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: FLOWMETER

(54) Bezeichnung: DURCHFLUSSMESSGERÄT



(57) Abstract: The invention relates to a flowmeter (1) comprising at least two ultrasonic transducers (2, 3) that are mounted on a container (7) which is penetrated by a medium (9) in a certain direction of flow (S). Said ultrasonic transducers (2, 3) alternately transmit and receive ultrasonic test signals in the direction of flow (S) and counter to the direction of flow (S). The inventive flowmeter (1) further comprises a control/evaluation unit (6) which determines and/or monitors the volume flow of the medium (9) inside the container (7) based on the difference in the travel time of the ultrasonic test signals propagating in the direction of flow (S) and counter to the direction of flow (S). The inventive ultrasonic transducers (2, 3) are configured such that they transmit and receive ultrasonic test signals or sound fields having a large aperture angle (g) or a great beam expansion.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung bezieht sich auf ein Durchflußmeßgerät (1) mit zumindest zwei Ultraschallwandlern (2, 3), die an einem Behältnis (7) angebracht sind, das von einem Medium (9) in einer Strömungsrichtung (S) durchströmt wird, wobei die Ultraschallwandler (2, 3) wechselweise Ultraschall-Meßsignale in Strömungsrichtung (S) und entgegen der Strömungsrichtung (S) aussenden und empfangen, und mit einer Regel-/Auswerteeinheit (6), die anhand der Laufzeitdifferenz der Ultraschall-Meßsignale, die sich in Strömungsrichtung (S) und entgegen der Strömungsrichtung (S) ausbreiten, den Volumenstrom des Mediums (9) in dem Behältnis (7) bestimmt und/oder überwacht. Erfindungsgemäß sind die Ultraschallwandler (2, 3) so ausgebildet, daß sie Ultraschall-Meßsignale bzw. Schallfelder mit einem großen Öffnungswinkel (g) bzw. mit einer großen Strahlaufweitung aussenden und empfangen.

## Durchflußmeßgerät

Die Erfindung bezieht sich auf ein Durchflußmeßgerät mit zumindest zwei  
5 Ultraschallwandlern und einer Regel-/Auswerteeinheit. Die Ultraschallwandler sind  
an einem Behältnis angebracht, das von einem Medium in einer Strömungsrichtung  
durchströmt wird. Anhand der Laufzeitdifferenz der Meß-signale, die sich in  
Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung des Mediums ausbreiten,  
ermittelt die Regel-/Auswerteeinheit den Volumen-durchfluß des Mediums in dem  
10 Behältnis.

Ultraschall-Durchflußmeßgeräte der zuvor beschriebenen Art, die den  
Volumendurchfluß mittels der sog. Lauzeitdifferenz-Methode ermitteln, werden  
vielfach in der Prozeß- und Automatisierungstechnik eingesetzt. Sie erlauben es,  
15 den Volumendurchfluß in einem Behältnis, z.B. in einer Rohrleitung, berührungslos  
zu bestimmen.

Unterschieden wird zwischen Ultraschall-Durchflußmeßaufnehmern, die in die  
Rohrleitung eingesetzt werden, und Clamp-On Durchflußmeßgeräten, bei denen  
20 die Ultraschallwandler von außen an das Leitungsrohr mittels eines  
Spannverschlusses angepreßt werden. Clamp-On Durchflußmeßgeräte sind  
beispielsweise in der EP 0 686 255 B1, der US-PS 4,484,478 oder der US-PS  
4,598,593 beschrieben.

Bei beiden Typen von Ultraschall-Durchflußmeßgeräten werden die Ultraschall-  
Meßsignale unter einem vorgegebenen Winkel in das Behältnis, in dem sich das  
Medium befindet, eingestrahlt. Bei Ultraschall-Durchflußmeßauf-nehmern ist die  
jeweilige Position der Ultraschallwandler am Meßrohr abhängig von dem  
Innendurchmesser des Meßrohres und von der Schallge-schwindigkeit des  
30 Mediums. Da der Innendurchmesser des Meßrohres von der Fertigung her bekannt  
ist, verbleibt - je nach Applikationsfall - höchstens die Schallgeschwindigkeit des  
Mediums als nur näherungsweise bekannter Parameter.

Bei Clamp-On Durchflußmeßgeräten kommen als weitere Applikations-parameter,  
35 denen mitunter ein relativ großer Fehler anhaftet, die Wandstärke der Rohrleitung  
und die Schallgeschwindigkeit des Materials der Rohrleitung hinzu.

Je nach Applikationsfall tritt bei Clamp-On Durchflußmeßgeräten noch eine weitere Fehlerquelle auf. Ein Ultraschallwandler, der bei einem Clamp-On Durchflußmeßgerät eingesetzt wird, weist zumindest ein die Ultraschall-Meßsignale erzeugendes piezoelektrisches Element und einen Koppelkeil auf. Dieser Koppelkeil ist üblicherweise aus Kunststoff gefertigt und dient einerseits der Impedanzanpassung und andererseits dem Schutz des piezoelektrischen Elements.

Die in einem piezoelektrischen Element erzeugten Ultraschall-Meßsignale werden über den Koppelkeil bzw. einen Vorlaufkörper und die Rohrwand in das flüssige Medium geleitet. Da die Schallgeschwindigkeiten in einer Flüssigkeit und in Kunststoff voneinander verschieden sind, werden die Ultraschallwellen beim Übergang von einem Medium in das andere gebrochen. Der Brechungswinkel selbst bestimmt sich nach dem Snellius Gesetz, d.h. der Brechungswinkel ist abhängig von dem Verhältnis der Ausbreitungsgeschwindigkeiten der beiden Medien.

Mit Koppelkeilen bzw. Vorlaufkörpern aus Kunststoff läßt sich i.a. eine gute Impedanzanpassung erzielen; allerdings zeigt die Schallgeschwindigkeit von Kunststoff eine relativ starke Temperaturabhängigkeit. Typischerweise verändert sich die Schallgeschwindigkeit von Kunststoff von ca. 2500 m/s bei 25° C auf ca. 2200 m/s bei 130° C. Zusätzlich zu der durch die Temperatur hervorgerufenen Änderung der Laufzeit der Ultraschall-Meßsignale im Kunststoff des Koppelkeils, ändert sich auch die Ausbreitungsrichtung der Ultraschall-Meßsignale in dem strömenden Medium. Beide Änderungen wirken sich bei einem nach der Laufzeitdifferenz-Methode arbeitenden Ultraschall-Durchflußmeßgerät daher ungünstig auf die Meßgenauigkeit aus.

Die Winkelpositionierung der Ultraschallwandler ist bei den bekannten Durchflußmeßgeräten fest vorgegeben. Zwecks Erstmontage oder im Falle späterer Applikationsänderungen ist es aufgrund des Zuvorgesagten erforderlich, den Abstand der beiden Ultraschallwandler definiert aufeinander einzustellen. Hierzu wird üblicherweise einer der beiden Ultraschallwandler solange relativ zum anderen verschoben, bis die Position ermittelt ist, in der die Intensität der von den Ultraschallwandlern empfangenen Meßsignale maximal ist. Nachdem der optimale Abstand der beiden Ultraschallwandler auf diesem 'Trial/Error' Weg ermittelt ist,

werden die beiden Ultraschallwandler in der ermittelten Position fest an der Rohrwand arretiert. Dieses Verfahren ist natürlich relativ zeitintensiv.

5 Hinzu kommt, daß einige der Applikationsparameter, die insbesondere bei einem Clamp-On Durchflußmeßgerät zur exakten Bestimmung des Volumen-durchflusses notwendig sind, in den seltensten Fällen genau genug bekannt sind; oder aber die Ermittlung dieser Parameter ist ziemlich aufwendig. Während die Bestimmung des Außendurchmessers der Rohrleitung kaum Probleme bereitet, kann die exakte Ermittlung der Wandstärke der Rohrleitung durchaus problematisch sein. In vielen  
10 Fällen ist darüber hinaus weder die Schallgeschwindigkeit des Materials der Rohrleitung noch die Schallge-schwindigkeit des Mediums exakt bekannt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine kostengünstige Vorrichtung zur hochgenauen Bestimmung und/oder Überwachung des Volumendurch-flusses in  
15 einem Behältnis vorzuschlagen.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Ultraschallwandler so ausgebildet sind, daß sie Meßsignale bzw. Schallfelder mit einem großen Öffnungswinkel aussenden und empfangen. Aufgrund der räumlich ausgedehnten Abstrahl-bzw.  
20 Empfangscharakteristik werden die Ultraschall-Meßsignale in einen weiten Winkelbereich eingestrahlt bzw. aus einem weiten Winkelbereich empfangen. Kurz gesagt, findet eine definierte, gewünschte Strahlaufweitung statt. Hierdurch ist der Ort der Montage der Ultraschallwandler weitgehend unabhängig von dem Durchmesser der Rohrleitung und von der Schallgeschwindigkeit des in der  
25 Rohrleitung strömenden Medium.

Allgemein läßt sich sagen, daß gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung die beiden Ultraschallwandler in einem definierten Abstand voneinander angeordnet sind, wobei der Abstand der beiden  
30 Ultraschallwandler nur von dem Öffnungswinkel der Meßsignale bzw. der Schallfelder abhängig ist; der Abstand der beiden Ultraschallwandler ist hingegen unabhängig von anderweitigen System- und/oder Prozeßgrößen. Bei diesen für eine hohe Meßgenauigkeit wichtigen System- und Prozeß-größen handelt es sich – wie bereits an vorhergehender Stelle erwähnt - um die Schallgeschwindigkeit des  
35 Mediums, um die Schallgeschwindigkeit des Materials der Rohrleitung, um die Wandstärke der Rohrleitung oder um den Innendurchmesser der Rohrleitung.

Bevorzugt handelt es sich bei dem Durchflußmeßgerät um ein Clamp-On Durchflußmeßgerät.

Der zur Bestimmung und/oder Überwachung des Volumendurchflusses des Mediums in der Rohrleitung verwendete Schallpfad ist (in Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung) vorgegeben durch den Ort der Ultraschallwandler an der Rohrleitung und nicht durch die Abstrahlrichtung der Ultraschallwandler. Damit ist die Erstmontage des erfindungsgemäßen Clamp-On Durchfluß-meßgeräts natürlich gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannt gewordenen Lösungen erheblich vereinfacht. Desweiteren erübrigen sich auch allfällige Nachjustierungen, die bei den bekannten Lösungen bislang notwendig waren, sobald Prozeß- oder Systemveränderungen aufgetreten sind.

Eine besonders kostengünstige Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht vor, daß es sich bei einem piezoelektrischen Element, das in einem Ultraschallwandler eingesetzt wird, um ein scheibenförmiges piezo-elektrisches Element handelt. Ein z.B. kreisscheibenförmiges piezo-elektrisches Element hat einen intrinsischen Öffnungswinkel  $\gamma$ , der durch die folgende mathematische Formel definiert ist:  $\sin(\gamma) = 1.22 \lambda/D$ , wobei  $\lambda$  die Wellenlänge der Ultraschall-Meßsignale im Medium und D den Durchmesser des kreisscheibenförmigen piezoelektrischen Elements kennzeichnet. Somit läßt sich beispielsweise über den Durchmesser eines piezoelektrischen Elements eine gewünschte Strahlaufweitung erreichen. Eine zusätzliche oder alternative Defokussierung und damit Strahlaufweitung wird dadurch erreicht, daß eine akustische Streulinse eingesetzt wird. Alternativ kann eine akustische Linse verwendet werden, wobei darauf geachtet werden muß, daß die Ultraschall-Meßsignale nicht im Fokus der Linse in die Rohrleitung eingestrahlt bzw. aus der Rohrleitung empfangen werden.

Gemäß einer vorteilhaften alternativen Ausgestaltung von Ultraschallwandlern mit einer breiten Abstrahl- bzw. Empfangscharakteristik sind mehrere piezoelektrischen Elementen als Sende-und/oder Empfangselemente vorgesehen sind, wobei die Sende- und/oder Empfangselemente in einem Array angeordnet sind. Jede gewünschte Abstrahl- bzw. Empfangs-charakteristik bzw. Strahlaufweitung läßt sich über eine entsprechende elektronische Ansteuerung der einzelnen piezoelektrischen Elemente realisieren. Insbesondere steuert die Regel-/Auswerteeinheit die piezo-elektrischen Elemente in dem Array an, wodurch letztlich

jede gewünschte Strahlaufweitung realisierbar ist. Derartige Arrays sind als Phasen-Piezo-Arrays käuflich zu erwerben und werden in der Medizintechnik und in der Werkstoffprüfung eingesetzt.

5 Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist der Mindestabstand der beiden Ultraschallwandler so bemessen ist, daß sich die Meßsignale, die wechselweise von den beiden Ultraschallwandlern ausgesendet und empfangen werden, über jeweils zumindest einen Schallpfad in dem vom Medium durchströmten Behältnis ausbreiten.

10 Ein großer Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist darin zu sehen, daß die relative Position der beiden Ultraschallwandlern schon bei der Herstellung des Clamp-On Durchflußmeßgeräts fest vorgegeben sein kann. Da das Gerät nur noch an der Rohrleitung befestigt werden muß, entfallen die bislang notwendigen  
15 Justierungen und die relativ teure Montagehilfe. Damit ist es auch erstmals möglich, daß ein Monteur ohne spezielle elektrische Fachkenntnisse das erfindungsgemäße Clamp-On Durchflußmeßgerät in Betrieb nehmen kann. Hierdurch wird Zeit und Geld eingespart.

20 Um ein erhöhtes Maß an Meßsicherheit zu erreichen, sieht eine vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung vor, daß der Mindestabstand der beiden Ultraschallwandler und der Öffnungswinkel der Meßsignale bzw. der Schallfelder so bemessen sind, daß sich die Meßsignale über zumindest zwei  
25 Schallpfade ausbreiten, wobei sich die beiden Schallpfade in der Anzahl der Traversen unterscheiden. Eine Traverse definiert übrigens den Teilbereich eines Schallpfades, auf dem ein Meßsignal den Behälter einmal quert.

Die zuvor genannte Ausgestaltung eröffnet darüber hinaus noch weitere äußerst vorteilhafte Möglichkeiten. An vorhergehender Stelle wurde bereits darauf  
30 hingewiesen, daß es je nach Applikationsfall schwierig ist, den exakten Wert jeder einzelnen Prozeß- und Systemgröße zu ermitteln. Man behilft sich, indem üblicherweise Schätzwerte in die Berechnungen einfließen – eine Methode, die qualitativ hochwertigen Meßergebnissen nicht notwendigerweise angemessen ist. Alternativ werden die Applikationsparameter bzw. die Prozeß- und Systemgrößen  
35 auf aufwendige Art und Weise ermittelt.

Für dieses Problem stellt eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine sehr zuverlässige und einfache Lösung bereit: Die Regel-/Auswerteeinheit errechnet anhand der Laufzeit der Meßsignale, die sich in Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung in dem vom Medium durchströmten Behältnis auf zumindest zwei unterschiedlichen Schallpfaden ausbreiten, zumindest eine der System- oder Prozeßgrößen, die zur Bestimmung des Volumenstroms des Mediums in dem Behältnis erforderlich ist.

Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1: eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung und

Fig. 2: einen Graphen, der die Abhängigkeit der Amplitude der Ultraschall-Meßsignale aus Fig. 1 in Abhängigkeit von der Laufzeit wiedergibt.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschall-Durchflußmeßgerätes 1. Bei dem Meßgerät 1 handelt es sich im gezeigten Fall um ein Clamp-On Durchflußmeßgerät. Das Meßgerät 1 ermittelt den Volumendurchfluß des Mediums 9 in dem Rohr 7 nach der bekannten Laufzeitdifferenz-Methode.

Wesentliche Komponenten des Clamp-On Ultraschall-Durchflußmeßgerätes 1 sind die beiden Ultraschallwandler 2, 3 und die Regel-/Auswerteeinheit 6. Die beiden Ultraschallwandler 2, 3 sind mittels einer in der Fig. 1 nicht gesondert dargestellten Befestigungsvorrichtung an dem Rohr 7 angebracht. Entsprechende Befestigungsvorrichtungen sind aus dem Stand der Technik hinlänglich bekannt und werden auch von der Anmelderin angeboten und vertrieben. Das Rohr 7 mit dem Innendurchmesser  $d_i$  wird von dem Medium 9 in Strömungsrichtung S durchströmt.

Ein Ultraschallwandler 2; 3 weist als wesentliche Bestandteile zumindest ein piezoelektrisches Element 4, 5, das die Ultraschall-Meßsignale erzeugt und/oder



empfängt, und einen Koppelkeil auf. Die Ultraschall-Meßsignale werden über den Koppelkeil in das vom Medium 9 durchströmte Rohr 7 eingekoppelt bzw. aus dem Rohr 7 ausgekoppelt.

- 5 Die beiden Ultraschallwandler 2, 3 sind derart ausgestaltet, daß sie Ultra-schall-Meßsignale bzw. Schallfelder mit einem großen Öffnungswinkel  $\gamma$  bzw. mit einer großen Strahlaufweitung aussenden und empfangen. Der Abstand  $L$  der beiden Ultraschallwandler 2, 3 ist daher nur abhängig von dem - im Prinzip beliebig konfigurierbaren - Öffnungswinkel  $\gamma$  der Ultraschall-Meßsignale bzw. der
- 10 Schallfelder. Damit kann der Abstand  $L$  der beiden Ultraschallwandler 2, 3 ggf. schon bei der Fertigung fest eingestellt werden, da er unabhängig von anderweitigen System- und/oder Prozeßgrößen ist. Bei diesen System- und Prozeßgrößen handelt es sich beispielsweise um den Innendurchmesser  $d_i$  des Rohres 7, um die Wandstärke  $w$  des Rohres 7, um die Schallgeschwindigkeit  $cr$
- 15 des Materials, aus dem das Rohr 7 gefertigt ist, oder um die Schallgeschwindigkeit  $c$  des Mediums 9. Hierdurch wird der Installationsaufwand erheblich reduziert; spätere Nachjustierungen aufgrund von Prozeß- und/oder Systemänderungen sind überflüssig.
- 20 Erfindungsgemäß kann der Mindestabstand  $L_{min}$  der beiden Ultraschallwandler 2, 3 so bemessen sein, daß sich die Ultraschall-Meßsignale, die entsprechend der Laufzeitdifferenz-Methode wechselweise von den beiden Ultraschallwandlern 2, 3 ausgesendet und empfangen werden, über nur einen Schallpfad SP1; SP2 in dem vom Medium 9 durchströmten Behälter 7 ausbreiten.
- 25 In Fig. 1 ist die bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zu sehen, bei der der Mindestabstand  $L_{min}$  der beiden Ultraschallwandler 2, 3 und der Öffnungswinkel  $\gamma$  der Ultraschall-Meßsignale bzw. der Schallfelder so bemessen sind, daß sich die Ultraschall-Meßsignale über zumindest zwei Schallpfade SP1, SP2 ausbreiten, wobei sich beide Schallpfade SP1, SP2 in der Anzahl ihrer
- 30 Traversen unterscheiden. Eine Traverse kennzeichnet übrigens den Teilbereich eines Schallpfades SP1; SP2, auf dem ein Ultra-schall-Meßsignal den Behälter 7 einmal quert.
- 35 In dem in Fig. 2 dargestellten Graphen ist die Amplitude der Ultraschall-Meßsignale, die sich auf den beiden Schallpfaden SP1, SP2 der Fig. 1 ausbreiten,

gegen die Laufzeit aufgetragen. Anhand der Laufzeitdifferenz der beiden  
Ultraschall-Meßsignale ermittelt die Regel-/Auswerteeinheit 6 einerseits den  
gewünschten Volumendurchfluß des Mediums 9 durch das Rohr 7; andererseits  
kann sie anhand der errechneten Werte weitere Applikationsparameter bestimmen.  
5 Insbesondere handelt es sich hierbei um Applikationsparameter, bei deren  
Bestimmung üblicherweise auf Schätzwerte zurückgegriffen wird, da deren exakte  
Ermittlung mit zu hohem Aufwand verbunden wäre. Bei der erfindungsgemäßen  
Anordnung der Ultraschall-wandler 2, 3 ist es möglich, System- und  
Prozeßparameter mit einer gewünschten hohen Genauigkeit anhand der Laufzeit  
10 der Meßsignale, die sich auf zwei verschiedenen Schallpfaden SP1, SP2  
ausbreiten, zu errechnen.

Nachfolgend ist anhand eines mathematischen Modells eine Möglichkeit  
dargestellt, wie sich unbekannte Applikationsparameter anhand von Ultraschall-  
15 Meßsignalen, die auf zwei unterschiedlichen Schallpfaden SP1, SP2 mit einer  
unterschiedlichen Anzahl von Traversen  $n$  (siehe Fig. 1) in dem Medium 9  
propagieren, errechnen lassen.

Die gemessene Laufzeit eines Schallpfades SP1; SP2 mit  $n$  Traversen sei  $t(n)$ .  
20 Applikationsparameter sind die Rohrwandstärke  $w$ , die Schallge-schwindigkeit im  
Rohr  $c_r$ , der Innendurchmesser  $d_i$  des Rohres 7 und die Schallgeschwindigkeit  $c$   
des Mediums 9. Die Distanz eines piezoelektrischen Elementes 2, 3 zur Rohrwand  
 $d_s$ , der Abstand  $L$  und die Schallgeschwindigkeit  $c_s$  im Vorlaufkörper 2; 3 sind  
bekannte Größen.

25 Seien  $\alpha(n)$ ,  $\alpha_r(n)$  und  $\alpha_s(n)$  die zunächst unbekannten Winkel eines Schallpfades  
SP1; SP2 im Medium 9, im Rohr 7 und im Ultraschallwandler 2, 3. Für diese gilt  
das Snellius Gesetz. Der Einfachheit halber ist der Index  $n$  bei der Gleichung  
weggelassen. Dann lauten die Gleichungen:

$$\frac{\sin(\alpha)}{c} = \frac{\sin(\alpha_s)}{c_s} \quad (1) \text{ und}$$

$$\frac{\sin(\alpha)}{c} = \frac{\sin(\alpha_r)}{c_r} \quad (2)$$

Folgendes Modell kann für die Laufzeiten angesetzt werden:

$$t(n) = ts(n) + tr(n) + tm(n) \quad (3),$$

5 wobei  $tr(n) = \frac{2w}{cr \cos(\alpha r)}$  die Laufzeit im Rohr,  $ts(n) = \frac{2ds}{cs * \cos(\alpha s)}$  die Laufzeit im  
Ultraschallwandler 2, 3 und  $tm(n) = \frac{n * di}{c \cos(\alpha)}$  die Laufzeit im Medium 9 ist.

Weiter gilt:

$$10 \quad L = Ls(n) + Lr(n) + Lm(n) \quad (4),$$

mit den Strecken  $Ls(n) = 2ds \tan(\alpha s)$  im Ultraschallwandler 2, 3,

$Lr(n) = 2w \tan(\alpha r)$  im Rohr 7 und

15  $Lm(n) = n * di \tan(\alpha)$  im Medium 9 entlang der Rohrachse 10.

Damit ergeben sich für jeden Schallpfad SP1, SP2 vier Gleichungen (1) - (4) für  
drei unbekannte Winkel. Pro gemessener Laufzeit kann also das Gleichungssystem  
20 (ggf. numerisch) nach einem zusätzlichen Applikations-parameter aufgelöst  
werden. Bei einem Schallstrahl beispielsweise nach  $c$ , wenn alle anderen  
Applikationsparameter bekannt sind. Wird - wie in Fig. 1 und Fig. 2 dargestellt -  $t(2)$   
und  $t(4)$  gemessen, so können die Gleichungen bei bekannten  $w$  und  $cr$  nach  $c$  und  
 $di$  aufgelöst werden.

25 Das Modell läßt sich vereinfachen, indem man sowohl die Laufzeiten als auch die  
Laufstrecken im Ultraschallwandler 2; 3 und im Rohr 7 in den Gleichungen (3) und  
(4) approximativ behandelt. Dann gelten z.B. die folgende Beziehungen

$$30 \quad Lr(n) \cong 0 \text{ und } Ls(n) \cong 0.$$

In Näherung können die beiden Gleichungen (1) und (2) unberücksichtigt bleiben,  
wobei diese Approximation für große Innendurchmesser  $di$  des Rohres 7 durchaus  
gerechtfertigt.

35 Anhand der Messungen sind die Laufzeiten im Medium  $tm(n)$  mit Gleichung (3)  
bekannt, und es gilt:

$$L^2 = n^2 di^2 \frac{\sin^2(\alpha(n))}{\cos^2(\alpha(n))} = n^2 di^2 \left( 1 - \frac{1}{\cos^2(\alpha(n))} \right) = n^2 di^2 - tm^2(n)c^2. \quad (5)$$

5 Für Laufzeitmessungen mit zwei Traversen und vier Traversen kann nachfolgend die Schallgeschwindigkeit  $c$  des Mediums 9 bzw. der Innendurchmesser  $di$  des Rohrs 7 entsprechend den beiden nachfolgend genannten Gleichungen errechnet werden:

$$c = L \sqrt{\frac{3}{tm^2(4) - 4tm^2(2)}} \text{ und} \quad (6)$$

10 
$$di = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{tm^2(4) - tm^2(2)}{tm^2(4) - 4tm^2(2)}}. \quad (7)$$

**Bezugszeichenliste**

5	
	1 Clamp-On Durchflußmeßgerät
	2 Ultraschallwandler
	3 Ultraschallwandler
	4 Piezoelektrisches Element
10	5 Piezoelektrisches Element
	6 Regel-/Auswerteeinheit
	7 Behältnis / Rohrleitung / Rohr
	8 Rohrwand
	9 Medium
15	10 Rohrachse
	$w$ Wandstärke
	$c_r$ Schallgeschwindigkeit des Rohrs 7
	$c$ Schallgeschwindigkeit des Mediums 9
20	$d_i$ Innendurchmesser des Rohrs 7
	$L$ Abstand der Ultraschallwandler 2, 3
	$L_{min}$ Mindestabstand der Ultraschallwandler 2, 3
	$\gamma$ Öffnungswinkel
	$tm(n)$ Laufzeit im Medium 9
25	$n$ Anzahl der Traversen
	$ds$ Distanz des piezoelektrischen Elements 4, 5 zur Rohrwand 8
	SP1 erster Schallpfad
	SP2 zweiter Schallpfad

30

## Patentansprüche

1. Durchflußmeßgerät mit zumindest zwei Ultraschallwandlern (2, 3), die an einem Behältnis (7) angebracht sind, das von einem Medium (9) in einer Strömungsrichtung (S) durchströmt wird, wobei die Ultraschallwandler (2, 3) wechselweise Ultraschall-Meßsignale in Strömungsrichtung (S) und entgegen der Strömungsrichtung (S) aussenden und empfangen, und mit einer Regel-/Auswerteeinheit (6), die anhand der Laufzeitdifferenz der Ultraschall-Meßsignale, die sich in Strömungsrichtung (S) und entgegen der Strömungsrichtung (S) ausbreiten, den Volumendurchfluß des Mediums (9) in dem Behältnis (7) bestimmt und/oder überwacht,

**dadurch gekennzeichnet,**

wobei die Ultraschallwandler (2, 3) so ausgebildet sind, daß sie Ultraschall-Meßsignale bzw. Schallfelder mit einem großen Öffnungswinkel ( $\gamma$ ) bzw. mit einer großen Strahlaufweitung aussenden und empfangen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die beiden Ultraschallwandler (2, 3) in einem definierten Abstand ( $L$ ) voneinander angeordnet sind, wobei der Abstand ( $L$ ) der beiden Ultraschallwandler (2, 3) nur von dem Öffnungswinkel ( $\gamma$ ) der Ultraschall-Meßsignale bzw. der Schallfelder abhängig ist und wobei der Abstand ( $L$ ) der beiden Ultraschallwandler (2, 3) unabhängig ist von anderweitigen System- und/oder Prozeßgrößen ( $w$ ,  $cr$ ,  $c$ ,  $di$ ).

3. Vorrichtung nach Anspruch 2,

**dadurch gekennzeichnet,**

wobei ein Mindestabstand ( $L_{min}$ ) der beiden Ultraschallwandler (2, 3) so bemessen ist, daß sich die Ultraschall-Meßsignale, die wechselweise von den beiden Ultraschallwandlern (2, 3) ausgesendet und empfangen werden, über jeweils zumindest einen Schallpfad (SP1; SP2) in dem vom Medium (9) durchströmten Behältnis (7) ausbreiten.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3,

**dadurch gekennzeichnet,**

wobei der Mindestabstand ( $L_{min}$ ) der beiden Ultraschallwandler (2, 3) und der Öffnungswinkel ( $\gamma$ ) der Ultraschall-Meßsignale bzw. der Schallfelder so bemessen sind, daß sich die Ultraschall-Meßsignale über zumindest zwei Schallpfade (SP1, SP2) ausbreiten, die sich in der Anzahl der Traversen ( $n$ ) unterscheiden, wobei eine Traverse den Teilbereich eines Schallpfades SP1; SP2 beschreibt, auf dem ein Ultraschall-Meßsignal den Behälter (7) einmal durchquert.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Regel-/Auswerteeinheit (6) anhand der Laufzeit ( $t(n)$ ) der Ultraschall-Meßsignale, die sich in Strömungsrichtung (S) und entgegen der Strömungsrichtung (S) in dem vom Medium (9) durchströmten Behältnis (7) auf zumindest zwei unterschiedlichen Schallpfaden (SP1, SP2) ausbreiten, zumindest eine der System- oder Prozeßgrößen ( $w$ ,  $cr$ ,  $c$ ,  $d_i$ ) errechnet, die zur Bestimmung des Volumendurchflusses des Mediums (9) in dem Behältnis (7) erforderlich ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß es sich bei der zumindest einen System- oder Prozeßgröße um den Innendurchmesser ( $d_i$ ) des Behältnisses (7), um die Wandstärke ( $w$ ) des Behältnisses (7), um die Schallgeschwindigkeit ( $cr$ ) des Materials, aus dem das Behältnis (7) gefertigt ist, oder um die Schallgeschwindigkeit ( $c$ ) des Mediums (9) handelt.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß jeder Ultraschallwandler (2, 3) zumindest ein piezoelektrisches Element (4, 5) als Sende- und/oder Empfangselement aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß es sich bei dem piezoelektrischen Element (4, 5) um ein scheiben-förmiges piezoelektrisches Element handelt, dem eine akustische Steulinse oder eine akustische Linse zwecks Strahlaufweitung zugeordnet ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß mehrere piezoelektrischen Elementen (4, 5) als Sende-und/oder  
5 Empfangselemente vorgesehen sind, wobei die Sende- und/oder  
Empfangselemente in einem Array angeordnet sind.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9,

**dadurch gekennzeichnet,**

10 daß die Regel-/Auswerteeinheit (6) die piezoelektrischen Elemente (4, 5) in dem  
Array so ansteuert, daß die vorgegebene Strahlaufweitung bzw. der gewünschte  
Öffnungswinkel ( $\gamma$ ) erreicht wird.



1/1

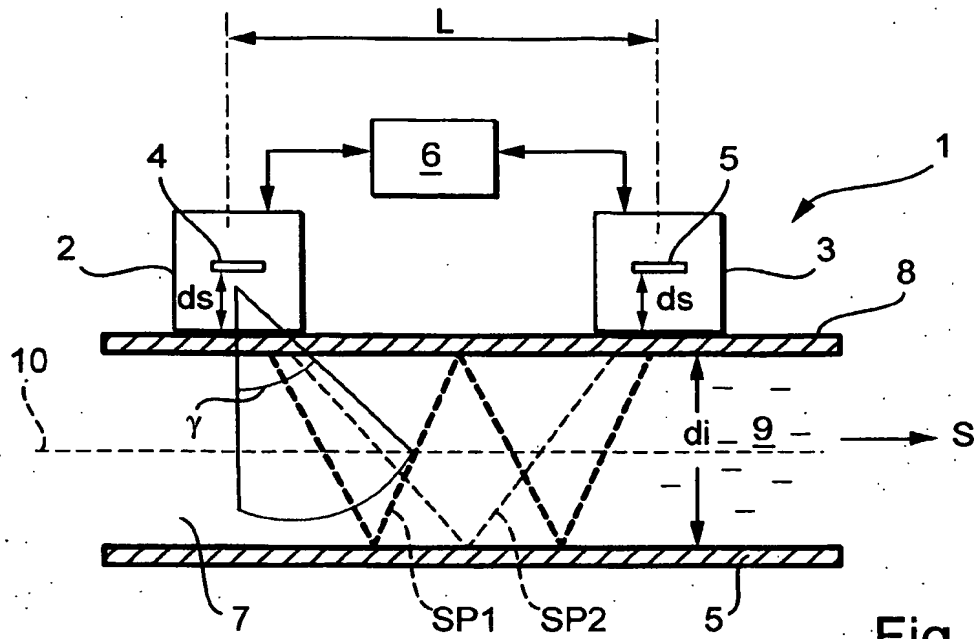


Fig. 1

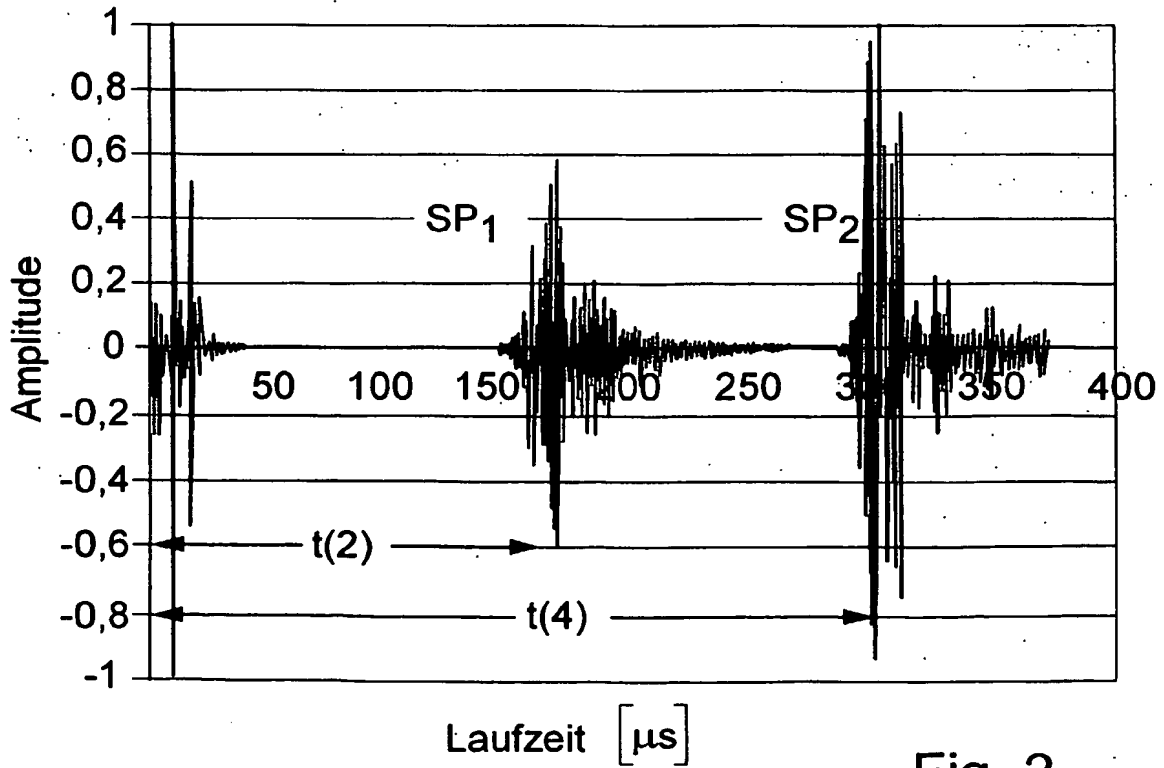


Fig. 2

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/11399

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 G01F1/66

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EP0-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 197 22 140 A (CHANGMIN CO) 11 December 1997 (1997-12-11)	1-7,9
Y	the whole document	1-10
X	US 4 162 630 A (JOHNSON STEVEN A) 31 July 1979 (1979-07-31)	1-6,9
Y	the whole document	1-10
X	US 4 462 261 A (KEYES MARION A ET AL) 31 July 1984 (1984-07-31)	1-6,9
Y	the whole document	1-10
Y	EP 0 273 385 A (WEBER SRL) 6 July 1988 (1988-07-06)	1-7,9
	the whole document	
	----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*8\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 February 2004

Date of mailing of the international search report

08/03/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Fenzl, B

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/EP 03/11399

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 363 156 A (CARDIOMETRICS INC) 11 April 1990 (1990-04-11) the whole document -----	1-9
Y	US 5 623 930 A (GURACAR ISMAYIL M ET AL) 29 April 1997 (1997-04-29) the whole document -----	1-7, 9, 10
Y	US 5 460 047 A (JACOBSON SAUL A) 24 October 1995 (1995-10-24) the whole document -----	1-7, 9, 10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/EP 03/11399

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19722140	A	11-12-1997	KR 170815 B1 DE 19722140 A1 JP 2935833 B2 JP 10104039 A RU 2138782 C1 US 6089104 A	01-05-1999 11-12-1997 16-08-1999 24-04-1998 27-09-1999 18-07-2000
US 4162630	A	31-07-1979	NONE	
US 4462261	A	31-07-1984	CA 1196716 A1 JP 1706132 C JP 3069052 B JP 58195122 A	12-11-1985 27-10-1992 30-10-1991 14-11-1983
EP 0273385	A	06-07-1988	IT 1196886 B BR 8707160 A DE 3777985 D1 EP 0273385 A2 ES 2031115 T3 US 4860593 A	25-11-1988 16-08-1988 07-05-1992 06-07-1988 01-12-1992 29-08-1989
EP 0363156	A	11-04-1990	US 4947852 A CA 1334301 C EP 0363156 A2 JP 2180245 A US 5078148 A US 5121749 A	14-08-1990 07-02-1995 11-04-1990 13-07-1990 07-01-1992 16-06-1992
US 5623930	A	29-04-1997	AU 5573496 A WO 9634562 A1	21-11-1996 07-11-1996
US 5460047	A	24-10-1995	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/11399

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 G01F1/66

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 197 22 140 A (CHANGMIN CO) 11. Dezember 1997 (1997-12-11)	1-7,9
Y	das ganze Dokument	1-10
X	US 4 162 630 A (JOHNSON STEVEN A) 31. Juli 1979 (1979-07-31)	1-6,9
Y	das ganze Dokument	1-10
X	US 4 462 261 A (KEYES MARION A ET AL) 31. Juli 1984 (1984-07-31)	1-6,9
Y	das ganze Dokument	1-10
Y	EP 0 273 385 A (WEBER SRL) 6. Juli 1988 (1988-07-06)	1-7,9
	das ganze Dokument	
	----- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. Februar 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

08/03/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Fenzl, B

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/11399

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 0 363 156 A (CARDIOMETRICS INC) 11. April 1990 (1990-04-11) das ganze Dokument -----	1-9
Y	US 5 623 930 A (GURACAR ISMAYIL M ET AL) 29. April 1997 (1997-04-29) das ganze Dokument -----	1-7,9,10
Y	US 5 460 047 A (JACOBSON SAUL A) 24. Oktober 1995 (1995-10-24) das ganze Dokument -----	1-7,9,10

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/11399

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19722140 A	11-12-1997	KR 170815 B1	01-05-1999
		DE 19722140 A1	11-12-1997
		JP 2935833 B2	16-08-1999
		JP 10104039 A	24-04-1998
		RU 2138782 C1	27-09-1999
		US 6089104 A	18-07-2000
US 4162630 A	31-07-1979	KEINE	
US 4462261 A	31-07-1984	CA 1196716 A1	12-11-1985
		JP 1706132 C	27-10-1992
		JP 3069052 B	30-10-1991
		JP 58195122 A	14-11-1983
EP 0273385 A	06-07-1988	IT 1196886 B	25-11-1988
		BR 8707160 A	16-08-1988
		DE 3777985 D1	07-05-1992
		EP 0273385 A2	06-07-1988
		ES 2031115 T3	01-12-1992
		US 4860593 A	29-08-1989
EP 0363156 A	11-04-1990	US 4947852 A	14-08-1990
		CA 1334301 C	07-02-1995
		EP 0363156 A2	11-04-1990
		JP 2180245 A	13-07-1990
		US 5078148 A	07-01-1992
		US 5121749 A	16-06-1992
US 5623930 A	29-04-1997	AU 5573496 A	21-11-1996
		WO 9634562 A1	07-11-1996
US 5460047 A	24-10-1995	KEINE	